

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-298247

(43)Date of publication of application : 24.10.2000

(51)Int.Cl. G02B 27/28  
G02F 1/09

(21)Application number : 11-307847 (71)Applicant : TOKIN CORP

(22)Date of filing : 28.10.1999 (72)Inventor : SATO TADAKUNI

(30)Priority

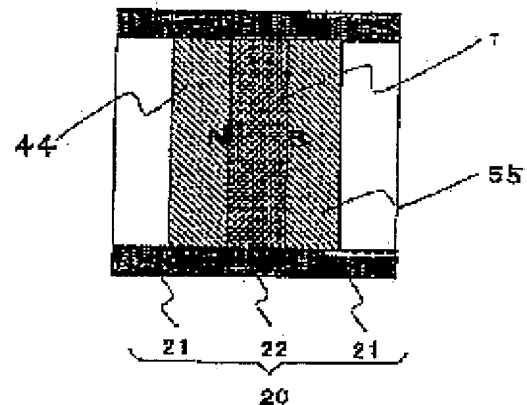
|          |          |          |            |           |    |
|----------|----------|----------|------------|-----------|----|
| Priority | 10326130 | Priority | 29.10.1998 | Priority  | JP |
| number : | 11033045 | date :   | 10.02.1999 | country : | JP |
|          | 11035039 |          | 12.02.1999 |           | JP |

## (54) OPTICAL ISOLATOR AND IRREVERSIBLE PHASE RECIPROCAL COMPONENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical isolator which can be formed small in size, lightweight and low-cost.

SOLUTION: Relating to this isolator, a Faraday rotator 1 consists of a magnetized hard magnetic garnet thick film, and a chassis 20 housing the Faraday rotator 1 is made of a magnet material to apply a magnetic field on the Faraday rotator 1. The chassis 20 is magnetized, in such a manner that the magnetic pole of the chassis 20, and the magnetic pole of the Faraday rotator 1 disposed nearest to the magnetic pole of the chassis 20 are in opposite polarities to each other, namely, that the chassis 20 is magnetized in the direction parallel to the direction of light entering the Faraday rotator 1 or magnetized in the radial direction. Or a permanent magnet is disposed in the front or back position of the Faraday rotator,



consisting of a hard magnetic garnet thick film in the propagation direction of light. Or a permanent magnet is disposed as a part of the chassis outside of the Faraday rotator consisting of a hard magnetic garnet thick film on the plane and orthogonal to the propagation direction of light.

---

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's  
decision of rejection]

[Kind of final disposal of application  
other than the examiner's decision  
of rejection or application  
converted registration]

[Date of final disposal for  
application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-298247  
(P2000-298247A)

(43) 公開日 平成12年10月24日 (2000. 10. 24)

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号  | F I           | テーマコード* (参考)    |
|---------------------------|-------|---------------|-----------------|
| G 0 2 B 27/28             |       | G 0 2 B 27/28 | A 2 H 0 7 9     |
| G 0 2 F 1/09              | 5 0 1 | G 0 2 F 1/09  | 5 0 1 2 H 0 9 9 |

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 12 頁)

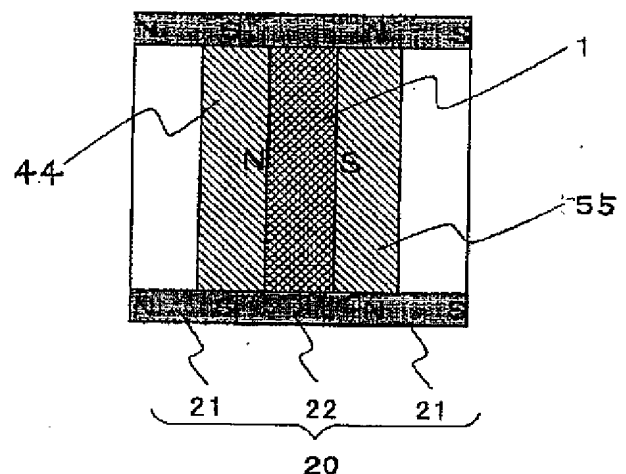
|              |                            |          |   |
|--------------|----------------------------|----------|---|
| (21) 出願番号    | 特願平11-307847               | (71) 出願人 | 000134257<br>株式会社トーキン                           |
| (22) 出願日     | 平成11年10月28日 (1999. 10. 28) |          | 宮城県仙台市太白区郡山6丁目7番1号                              |
| (31) 優先権主張番号 | 特願平10-326130               | (72) 発明者 | 佐藤 忠邦   |
| (32) 優先日     | 平成10年10月29日 (1998. 10. 29) |          | 仙台市太白区郡山6丁目7番1号 株式会<br>社トーキン内                   |
| (33) 優先権主張国  | 日本 (J P)                   | (74) 代理人 | 100098279<br>弁理士 栗原 聖                           |
| (31) 優先権主張番号 | 特願平11-33045                |          | Fターム(参考) 2H079 AA03 BA02 CA06 DA13 EA13<br>KA05 |
| (32) 優先日     | 平成11年2月10日 (1999. 2. 10)   |          | 2H099 AA01 BA02 CA11 DA05                       |
| (33) 優先権主張国  | 日本 (J P)                   |          |   |
| (31) 優先権主張番号 | 特願平11-35039                |          |   |
| (32) 優先日     | 平成11年2月12日 (1999. 2. 12)   |          |   |
| (33) 優先権主張国  | 日本 (J P)                   |          |   |

(54) 【発明の名称】 光アイソレータ及び非可逆相反部品

(57) 【要約】

【課題】 小型化、軽量化、低価格化を同時に図った光アイソレータを提供すること。

【解決手段】 ファラデー回転子1が、着磁された硬磁性のガーネット厚膜からなり、ファラデー回転子1を内包し、ファラデー回転子1に磁界を印加する磁石材料をもって筐体20とし、筐体20の磁極と、筐体20の磁極にもっとも近接して配置されるファラデー回転子1の磁極が、互いに異極の関係をなすように、すなわち、筐体20は、ファラデー回転子1に入射される光の方向に対し、平行な方向に着磁され、あるいは、径方向に着磁されている。また、図示はしないが、光の進行方向に対し、硬磁性ガーネット厚膜からなるファラデー回転素子の前方及び後方の位置に永久磁石を配置し、或いは、硬磁性ガーネット厚膜からなるファラデー回転素子の、光の進行と直交する面の外側で、筐体の一部に永久磁石を配置する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 硬磁性ガーネット厚膜からなるファラデー回転素子の、光の進行と直交する面の外側で、筐体の一部に永久磁石を配置することを特徴とする非可逆相反部品。

【請求項 2】 請求項 1 記載の非可逆相反部品において、前記筐体が、永久磁石とプラスチックの一体成形物からなることを特徴とする非可逆相反部品。

【請求項 3】 光の進行方向に対し、硬磁性ガーネット厚膜からなるファラデー回転素子の前方及び後方のうち少なくともどちらか一方の位置に永久磁石を配置して構成することを特徴とする非可逆相反部品。

【請求項 4】 請求項 3 記載の非可逆相反部品において、前記永久磁石は、磁石粉末がゴム状物質に分散されたゴム磁石であることを特徴とする非可逆相反部品。

【請求項 5】 請求項 3 記載の非可逆相反部品において、前記永久磁石は、磁石粉末が高分子樹脂に分散されたプラスチック磁石であることを特徴とする非可逆相反部品。

【請求項 6】 請求項 3 記載の非可逆相反部品において、前記永久磁石は、磁石粉末を焼結してなる焼結磁石であることを特徴とする非可逆相反部品。

【請求項 7】 請求項 3 記載の非可逆相反部品において、前記永久磁石は、塑性変形により製造が可能な金属磁石であることを特徴とする非可逆相反部品。

【請求項 8】 着磁された硬磁性のビスマス置換型希土類鉄ガーネット厚膜からなるファラデー回転子を有する光アイソレータにおいて、前記ファラデー回転子を内包し、該ファラデー回転子に磁界を印加する磁石材料をもって筐体とし、該筐体の磁極と、該磁極にもっとも近接する前記ファラデー回転子の磁極は、互いに異極の関係をなすように構成されていることを特徴とする光アイソレータ。

【請求項 9】 請求項 8 記載の光アイソレータにおいて、前記筐体は、前記ファラデー回転子に入射される光と平行な方向に着磁されていることを特徴とする光アイソレータ。

【請求項 10】 請求項 9 記載の光アイソレータにおいて、前記筐体は、該筐体の長さ方向に分割して着磁されていることを特徴とする光アイソレータ。

【請求項 11】 請求項 8 記載の光アイソレータにおいて、前記筐体は、径方向に着磁されていることを特徴とする光アイソレータ。

【請求項 12】 請求項 11 記載の光アイソレータにおいて、前記筐体は、該筐体の一方の端部近傍が中心向きに、該筐体の他の端部近傍が外に向けて、それぞれ径方向に着磁されていることを特徴とする光アイソレータ。

【請求項 13】 請求項 8 ないし請求項 12 のいずれか記載の光アイソレータにおいて、前記ビスマス置換型希土類鉄ガーネット厚膜は、Eu、Ho、Bi、Fe、お

よび、Ga を主成分とし、化学式が、 $(Eu_x Ho_{2-x} Bi)(Fe_{1-y} Ga_y)O_{12}$ 、ここで、 $0.7 \leq x \leq 1$ 、 $1$ 、 $0.6 \leq y \leq 1.2$ 、で表される組成を有することを特徴とする光アイソレータ。

【請求項 14】 請求項 13 記載の光アイソレータにおいて、前記ビスマス置換型希土類鉄ガーネット厚膜に含有される  $B_2O_3$  および  $PbO$  の濃度は、3 wt % 以下であることを特徴とする光アイソレータ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、例えば、光通信システムや光計測器に用いられる光学部品に関し、より詳しくは、光源から出射した光が、光学系の中の光学素子の端面で反射し、光源に戻るのを防ぐための非可逆相反部品として用いられる光アイソレータや光サーキュレータ等に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 光源からの出射光を光学系を用いて伝達しようとするとき、光学系中の光学素子の端面で反射した光は、光源に戻ってくる。例えば、光通信においては、光源のレーザから出射した光は結合レンズによって収束され、光ファイバの端面に集められる。大部分の光は、光ファイバ中に入り、その中を伝搬するが、一部の光はファイバ端面で反射されて光源のレーザに戻る。レーザ中に戻った光は、一般に位相も偏光方向もレーザ中の光とは異なり、これによってレーザ発振が乱され、レーザ光のノイズとなったり、最悪の場合は発振が停止する。

【0003】 このようなノイズを防ぐため、戻り光を遮断する光アイソレータが用いられる。また、同様な機能を有するものとして、光サーキュレータがある。光アイソレータでは、戻り光の遮断特性（アイソレーション、消光比）の高いこと、入射光の透過損失（挿入損失）の少ないことが要求される。

【0004】 従来の光アイソレータの典型的な構成の断面図を図 3 に示す。図 3 に示すように、ファラデー回転素子 21 の両側に偏光素子 2 を配置して入射光側を偏光子とし、出射光側を検光子として機能させている。また、ファラデー回転素子 21 の周囲には、この素子を一方に磁化させるための筒状の永久磁石 23 が配設されている。これらの光学素子及び磁石等は、それぞれホルダを介したり、磁石を介したりして、接着剤や半田、レーザ溶接等により、筐体 24 に固定されている。

【0005】 これら部材の中で、永久磁石 23 は、ファラデー回転素子 21 に使用される磁性材料を一方に十分に磁化させるだけの磁界強度を有する必要があるもので、ある程度の体積が必要である。また、永久磁石 23 はファラデー回転素子 21 を内包する構造となるため、常にこの永久磁石 23 の肉厚に相当する分だけ、光アイソレータの外径は余分に大きくなってしまう。そこで、

光アイソレータの小型化のために、永久磁石 23 には高価ではあるが高性能な希土類磁石を使用するのが通例である。

#### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】一方、現在、光アイソレータ等の光学部品においては、より一層の小型化、軽量化、低価格化が求められている。そこで、本発明者は、特願平 10-376037 号（平成 10 年 12 月 18 日提出）において、ファラデー回転素子として用いられる硬磁性を有するガーネット厚膜材料を提案し、さらに磁界印加用の永久磁石を必要とせず、小型、軽量、低価格を図れる光アイソレータを提案した。

【0007】しかし、これら提案に係る光アイソレータでは、熱膨張に伴い、応力が変化すると、逆磁区が発生しやすくなるため、アイソレーション、挿入損失、消光比等の光アイソレータとしての特性が劣化する場合があった。

【0008】本発明の第 1 の目的は、小型、軽量、低価格な上に、特性の劣化が発生しにくい光アイソレータ等の非可逆相反部品を提供することにある。

【0009】また、本発明の第 2 の目的は、小型化、軽量化、低価格化を同時に図れる光アイソレータを提供することにある。

#### 【0010】

【課題を解決するための手段】上記第 1 の目的を達成するため、本発明の第 1 の様相では、硬磁性ガーネット厚膜からなるファラデー回転素子の、光の進行と直交する面の外側で、筐体の一部に永久磁石を配置するようにしている。また、本発明の第 1 の様相では、前記筐体を、永久磁石とプラスチックの一体成形物から構成するようにした。

【0011】即ち、本発明の第 1 の様相では、上述した従来の光アイソレータ等の構造に対して、ファラデー回転素子に硬磁性ガーネット厚膜を使用することにより、磁界印加用の永久磁石を不要とできるので、光アイソレータ等の光学部品の小型化（小径化）、軽量化、低価格化を同時に達成し得るものである。

【0012】また、上記第 1 の目的を達成するため、本発明の第 2 の様相では、光の進行方向に対し、硬磁性ガーネット厚膜からなるファラデー回転素子の前方及び後方のうち少なくともどちらか一方の位置に永久磁石を配置して構成するようにした。

【0013】また、本発明の第 2 の様相では、上記の光学部品において、前記永久磁石は、磁石粉末がゴム状物質に分散されたゴム磁石であることを特徴とする。また、本発明の第 2 の様相では、上記の光学部品において、前記永久磁石は、磁石粉末が高分子樹脂に分散されたプラスチック磁石であることを特徴とする。また、本発明の第 2 の様相では、上記の光学部品において、前記永久磁石は、磁石粉末を焼結してなる焼結磁石であるこ

とを特徴とする。また、本発明の第 2 の様相では、上記の光学部品において、前記永久磁石は、塑性変形により製造が可能な金属磁石であることを特徴とする。

【0014】即ち、本発明の第 2 の様相においても、上述した従来の光アイソレータ等の構造に対して、ファラデー回転素子に硬磁性ガーネット厚膜を使用することにより、磁界印加用の永久磁石を不要とできるので、光アイソレータ等の光学部品の小型化（小径化）、軽量化、低価格化を同時に達成し得るものである。

10 【0015】また、上記第 2 の目的を達成するため、本発明の第 3 の様相に係る光アイソレータでは、ファラデー回転子が、着磁された硬磁性のビスマス置換型希土類鉄ガーネット厚膜（以下において、ガーネット厚膜という）からなり、ファラデー回転子を内包し、ファラデー回転子に磁界を印加する磁石材料をもって筐体とし、筐体の磁極と、筐体の磁極にもっとも近接するファラデー回転子の磁極は、互いに異極の関係をなすように構成するようにした。

20 【0016】本発明の第 3 の様相による光アイソレータにおいて、筐体は、ファラデー回転子に入射される光と平行な方向、すなわち、長さ方向に着磁されている。筐体は、長さ方向に分割して着磁されていてもよい。また、本発明の第 3 の様相による光アイソレータにおいて、筐体は、径方向に着磁されていてもよい。筐体は、中心に向けて着磁されている部分と、外に向けて着磁されている部分から構成されているとよい。

30 【0017】本発明の第 3 の様相による光アイソレータのファラデー回転子には、液相エピタキシャル成長法（以下、LPE 法）によって育成され、化学式が、 $(EuxHo_{2-x}Bi)(Fe_{1-y}Ga_y)O_{12}$ 、ここで、 $0.7 \leq x \leq 1.1$ 、 $0.6 \leq y \leq 1.2$  で表される組成範囲で、厚さ方向に磁気異方性を有するガーネット厚膜が用いられる。本発明の第 3 の様相によるファラデー回転子は、ガーネット厚膜に含まれる  $B_2O_3$  および  $PbO$  を、3 wt % 以下と規定する。

#### 【0018】

【発明の実施の形態】まず、本発明の第 1 の実施形態について、図面を参照して説明する。本実施形態は、特定の組成を有するメルトから、LPE 法（液相成長法）によりガーネット育成基板上に硬磁性ガーネット厚膜を育成するものであり、膜厚方向に磁気異方性を有するように育成することができる。従って、硬磁性ガーネット厚膜は、外部磁界を印加して膜厚方向に着磁することにより、強い磁界を発生するための磁界印加用外部磁石を使用することなく、一方向に良好に磁化されたファラデー回転素子を得ることができる。

【0019】本実施形態における硬磁性ガーネット厚膜は、主成分比が  $Eu_{0.9}Ho_{0.1}Bi_{1.0}Fe_{4.1}Ga_{0.9}O_{12}$  近傍である Bi 置換型ガーネットであることが望ましい。ここで Bi 置換型とするのは、Bi 置換によりガ

ーネットのファラデー回転能が著しく向上するので所要の膜厚が低減し、結晶育成が容易となるからであり、Biの比率は、0.5以上であることが好ましい。また、Eu、Ho、Fe、Gaは、ガーネット膜の磁化の大きさに関係するものであり、磁化が大きくなると逆磁区が発生して光アイソレータの特性（アイソレーション、消光比、挿入損失）が劣化することになるので、各組成は、Eu:0.7~1.1、Ho:0.9~1.3、Fe:3.8~4.3、Ga:0.7~1.2の範囲であることが好ましい。ただし、ここでは、(Eu、Ho、Bi)、(Fe、Ga):O<sub>12</sub>のガーネットの組成比の関係を満たす必要がある。また、少量のB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>及びPbOを含有すると育成結晶状態が良好となり、挿入損失が減少する。これは育成結晶のイオンバランス改善に寄与すると推察する。これらの含有量としては、各々約3wt%以下であることが好ましい。

【0020】このような光アイソレータ等に用いられるファラデー回転素子等用のBi置換型ガーネットのLPE法は、一般に次のようにして行われている。白金するつぼの中に、PbO、Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等をフラックス成分とし、ガーネット成分(Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等)を約900~1100℃で溶解して溶液(メルト)を作製した後、降温し、過冷却状態(過飽和溶液状態)とする。そのメルトにガーネット育成基板を浸漬し、長時間回転しながらBi置換型ガーネットの厚膜を育成する。

【0021】このようなLPE法においては、育成基板に比べて育成されるBi置換ガーネットの熱膨張率が20%程度大きいので、室温近傍では異方性ガーネット厚膜には応力が残存することになる。これに、温度サイクル(通常、当該関連部品では-40℃~+80℃の範囲)をかけると、熱膨張に伴う応力の変化はガーネット膜の磁化量の変化及び磁壁エネルギーの変化とも重畳し、一方向に磁化されたこのガーネット厚膜にも逆磁区が発生し易くなる。そして、このような逆磁区の発生しているガーネット厚膜がファラデー回転素子として挿入されている場合には、アイソレータ等の光学特性(アイソレーション、挿入損失、消光比等)は著しく劣化することになる。

【0022】そこで、本発明の第1の実施形態では、アイソレータの小型、軽量、低廉化を図りつつ、これらの特性劣化の原因となる逆磁区発生を防止するために、筐体の一部に、硬磁性ガーネット厚膜を使用したファラデー回転素子の、光の進行と直交する面の外側に磁石が位置するように配置した後、ファラデー回転素子及び磁石を着磁して光アイソレータを構成するものである。これは、ファラデー回転素子の平面に発生する静磁エネルギーを、この面に近接する磁石の端面を異なる磁極とすることにより、逆磁区の発生を防止するものである。本構成であれば、ファラデー回転素子及び磁石の着磁は一方

向磁化により、一度で実施できるという簡便な作業となる。

【0023】また、筐体の磁石部と非磁性部の構成は、各単体部材の接着や組み込みによっても作製できるが、磁石にプラスチックを押出、射出する等の手法で磁石とプラスチックを一体成物とすることにより、更に低廉化できる。

【0024】(実施例1)高純度の酸化ユーロピウム(Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、酸化ホルミウム(Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、酸化ビスマス(Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、酸化第二鉄( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、酸化ガリウム(Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、酸化鉛(PbO)及び酸化ホウ素(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)の粉末を原料として使用し、PbO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系をフラックスとして、LPE法にてSGGG基板(Ca・Mg・Zr置換GGG、格子定数12.496オングストローム)上に、主成分比がEu<sub>0.9</sub>Ho<sub>0.1</sub>Bi<sub>1.0</sub>Fe<sub>4.1</sub>Ga<sub>0.8</sub>O<sub>12</sub>でB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を約1wt%、PbOを約1wt%含有する組成のガーネット厚膜を厚さ約600 $\mu$ mに育成した。

【0025】次に、この試料の基板を除去した後、厚さ約500 $\mu$ mに研磨し、ガーネット厚膜のファラデー回転角が波長1.55 $\mu$ mで約45degとなるように調整した。なお、上記ガーネット厚膜の組成は、EPMA分析及び原子吸光分析にて求めたものである。次に、このガーネット厚膜の磁気特性を振動型磁力計にて測定したところ、飽和磁化(4 $\pi$ Ms)及び残留磁化(B<sub>r</sub>)は約120Gであり、保磁力(iHc)は約400Oeであり、膜厚方向に磁気異方性を有する角形性の良好な磁化曲線を示していた。すなわち、硬磁性ガーネット材料となっていた。次に、このガーネット厚膜にARコートをし、ファラデー回転素子として使用し、光の進行に対しその前後に偏光子及び検光子としてARコート処理したガラス偏光子(商品名ポーラコア)を偏光面が45degとなるように配置した。これらの素子は、光の入射面が約2mmの正方形であり、厚さが、それぞれ、約500 $\mu$ mの平板状である。

【0026】次に、図1に示すように、外径4mm、内径3mmの円筒状の永久磁石3(筐体を兼ねる)を両端に配置し中央部が非磁性部となっている筐体4内に、上記のように作製したファラデー回転素子1を配置した。ここで、ファラデー回転素子1の、光の進行と直交する面の外側に、永久磁石3が位置するように配置している。これを光の進行方向に磁化するように、電磁石を使用して約20kOeの磁場を印加して、ファラデー回転素子及び磁石を同時に磁化してアイソレータとした。これらアイソレータの特性は、アイソレーションが40dB以上、挿入損失が0.3dB以下、消光比が40dB以上であった。

【0027】次に、上記のようにしてアイソレータを各々50個作製し、温度変化(-40℃~+80℃/Hr)を10回繰り返した後、アイソレータの特性劣化の

発生率について調べた。ここでの特性劣化とは、アイソレーションが 40 dB 以下、挿入損失が 0.3 dB 以上、消光比が 40 dB 以下のいずれかの範囲になったものである。ここで使用した円筒状の磁石の特性及びアイ \*

\* ソレータの特性劣化の発生率を表 1 に示す。

【0028】

【表 1】

| 使用した磁石                                     |            |              |                   |            | アイソレータの<br>特性劣化の<br>発生率<br>(%) |
|--|------------|--------------|-------------------|------------|--------------------------------|
| 材質   | Br<br>(kG) | iHc<br>(kOe) | (BH)max<br>(MGoe) | 厚さ<br>(mm) |                                |
| Srフェライト系ゴム磁石                               | 2.5        | 3.0          | 1.4               | 0.2        | 0                              |
| Baフェライト系ゴム磁石                               | 2.5        | 2.5          | 1.4               | 0.3        | 0                              |
| Srフェライト系プラスチック磁石                           | 2.3        | 3.5          | 1.2               | 0.5        | 0                              |
| Baフェライト系プラスチック磁石                           | 2.2        | 2.3          | 1.2               | 0.7        | 0                              |
| Sm <sub>2</sub> Co <sub>17</sub> 系プラスチック磁石 | 5.5        | 7.0          | 6.5               | 0.5        | 0                              |
| Nd-Fe-B系プラスチック磁石                           | 4.5        | 6.0          | 4.5               | 1.0        | 0                              |
| Srフェライト系焼結磁石                               | 3.8        | 2.7          | 3.4               | 0.5        | 0                              |
| Baフェライト系焼結磁石                               | 3.6        | 2.2          | 3.3               | 0.5        | 0                              |
| Sm <sub>2</sub> Co <sub>17</sub> 系焼結磁石     | 9.8        | 7.0          | 22                | 1.0        | 0                              |
| Nd-Fe-B系焼結磁石                               | 12.0       | 9.0          | 34                | 1.0        | 0                              |
| Fe-Cr-Co系磁石                                | 0.5        | 0.8          | 3.2               | 0.3        | 0                              |
| Cu-Ni-Fe系磁石                                | 7.0        | 0.5          | 1.5               | 0.5        | 0                              |
| 磁石装着せず                                     | —          | —            | —                 | —          | 8                              |

【0029】表 1 より、硬磁性ガーネット厚膜をフェラデー回転素子として使用し、フェラデー回転素子の、光の進行方向と直交する面の外側に磁石を配置することにより、熱サイクルによるアイソレータの特性劣化の発生率を容易に低減できることがわかる。従って、本発明は、工業上、非常に有益であるといえる。

【0030】（実施例 2）実施例 1 と同様にして、筐体に、磁石とプラスチックを一体成形（一体化は磁石外周部にナイロン 12 を射出成形した）したものを使用し、図 2 示すように、部材を配置して、光アイソレータを構成した。磁石の材質及び熱サイクルによるアイソレータの特性劣化の発生率を表 2 に示す。

【0031】

【表 2】

| 磁石の材質                                      | アイソレータの特性劣化<br>の発生率 (%) |
|--|-------------------------|
| Srフェライト系プラスチック磁石                           | 0                       |
| Sm <sub>2</sub> Co <sub>17</sub> 系プラスチック磁石 | 0                       |
| Baフェライト系焼結磁石                               | 0                       |
| Sm <sub>2</sub> Co <sub>17</sub> 系焼結磁石     | 0                       |
| Fe-Cr-Co系磁石                                | 0                       |
| 磁石装着せず                                     | 8                       |

【0032】表 2 より、硬磁性ガーネット厚膜をフェラデー回転素子として使用し、フェラデー回転素子の、光の進行方向と直交する面の外側に磁石を配置することにより、熱サイクルによるアイソレータの特性劣化の発生

率を容易に低減できることがわかる。従って、本発明は、工業上、非常に有益であるといえる。同様に、ファラデー回転素子の特性劣化が防止できるので、光サーキュレータの特性劣化を防止することができる。

【0033】次に、本発明の第2の実施形態について説明する。この第2の実施形態では、上述したアイソレータの特性劣化の原因となる逆磁区発生を防止するために、光の進行方向に対し硬磁性ガーネット厚膜を使用したファラデー回転素子の前後、又はいずれか片側の光の透過を阻害しない位置に永久磁石を配置することにより、この磁石の発する磁束によりファラデー回転素子の磁区を固定し、安定化を図るものである。

【0034】ここに使用される永久磁石としては、高分子複合型磁石、焼結磁石、金属圧延磁石等が成形上、有用となる。高分子複合型磁石は、磁石粉末をゴム状物質（天然ゴム、合成ゴム等）に分散させて成る、いわゆるゴム磁石や、高分子樹脂に分散させて成る、いわゆるプラスチック磁石等がある。前者は、圧延伸展、打ち抜き等の成形加工が容易なことを特徴とし、Srフェライト系、Baフェライト系、希土類磁石系等がある。後者は、圧縮成形、押出成形、射出成形により所要形状、または、それに近い状態に加工できることを特徴とし、Baフェライト系、Srフェライト系、 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 系、Nd-Fe-B系等がある。

【0035】また、焼結磁石は、磁石粉末を所要形状に成形した後、焼結してなる磁石であり、高密度となるので、高い磁石特性を有するので、小型化ができ、加工量も少なくできることを特徴とし、Baフェライト系、Srフェライト系、 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 系、Nd-Fe-B系等がある。また、金属圧延磁石は、磁石材料の塑性変形が可能な材料であり、圧延、押し出し、打ち抜き、線引きなどの加工が可能であり、Fe-Cr-Co系、Cu-Ni-Fe系、Cu-Ni-Co系、Pt-Fe系、Pt-Co系、Mn-Al-C系、希土類-Fe-B系等がある。

【0036】このような本実施形態における永久磁石材料としては、小型化、薄型化でき、加工容易性があるものが有用となる。

【0037】（実施例3）高純度の酸化ユーロピウム（ $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ）、酸化ホルミウム（ $\text{Ho}_2\text{O}_3$ ）、酸化ビスマス（ $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ）、酸化第二鉄（ $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ）、酸化ガリウム（ $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ）、酸化鉛（PbO）及び酸化ホウ素（ $\text{B}_2\text{O}_3$ ）の粉末を原料として使用し、PbO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系をフラックスとして、LPE法にてSG

GG基板（Ca・Mg・Zr置換GGG、格子定数12.496オングストローム）上に、主成分組成が $\text{Eu}_{0.9}\text{Ho}_{0.1}\text{Bi}_{1.0}\text{Fe}_{4.1}\text{Ga}_{6.9}\text{O}_{12}$ で $\text{B}_2\text{O}_3$ を約1wt%、PbOを約1wt%含有する組成のガーネット厚膜を厚さ約600 $\mu\text{m}$ に育成した。

【0038】次に、この試料の基板を除去した後、厚さ約500 $\mu\text{m}$ に研磨し、ガーネット厚膜のファラデー回転角が波長1.55 $\mu\text{m}$ で約45degとなるように調整した。なお、上記ガーネット厚膜の組成は、EPMA分析及び原子吸光分析にて求めたものである。次に、このガーネット厚膜の磁気特性を振動型磁力計にて測定したところ、飽和磁化（4 $\pi\text{Ms}$ ）及び残留磁化（Br）は約120Gであり、保磁力（iHc）は約400Oeであり、膜厚方向に磁気異方性を有する角形性の良好な磁化曲線を示していた。すなわち、硬磁性ガーネット材料となっていた。

【0039】次に、このガーネット厚膜にARコートを実施し、ファラデー回転素子として使用し、光の進行に対しその前後に偏光子及び検光子としてARコート処理したガラス偏光子（商品名ポーラコア）を偏光面が45degとなるように配置した。これらの素子は、光の入射面が約2mmの正方形であり、厚さが、それぞれ約500 $\mu\text{m}$ の平板状とした。

【0040】次に、図3に示すように、外径約5mm、内径約3mmの円筒状の筐体4内に、上記のファラデー回転素子1を挟むようにして、外径約3mm、内径約1.5mmで、厚さが約0.2mm～1.0mmのリング状の永久磁石3を配置、固定した。次に、これを光の進行方向に磁化するように、電磁石を使用して約20kOeの磁場を印加して、ファラデー回転素子1及びリング状の永久磁石3を磁化して、アイソレータとした。これらのアイソレータの特性は、アイソレーションが40dB以上、挿入損失が0.3dB以下、消光比が40dB以上であった。

【0041】次に、上記のようにしてアイソレータを各々50個作製し、温度変化（-40℃～+80℃/Hr）を10回繰り返した後、アイソレータの特性劣化の発生率について調べた。ここでの特性劣化とは、アイソレーションが40dB以下、挿入損失が0.3dB以上、消光比が40dB以下のいずれかの範囲になったものである。上記リング状の永久磁石の材質、特性及びアイソレータの特性劣化の発生率を表3に示す。

【0042】

【表3】



| 使用した磁石   |            |              |                   |            | アイソレータの<br>特性劣化の<br>発生率<br>(%) |
|--|------------|--------------|-------------------|------------|--------------------------------|
| 材質   | Br<br>(kG) | iHc<br>(kOe) | (BH)max<br>(MGOe) | 厚さ<br>(mm) |                                |
| Srフェライト系 $\gamma'$ - $\Delta$ 磁石                     | 2.5        | 3.0          | 1.4               | 0.2        | 0                              |
| Baフェライト系 $\gamma'$ - $\Delta$ 磁石                     | 2.5        | 2.5          | 1.4               | 0.3        | 0                              |
| Srフェライト系 $\gamma'$ -ラシック磁石                           | 2.3        | 3.5          | 1.2               | 0.5        | 0                              |
| Baフェライト系 $\gamma'$ -ラシック磁石                           | 2.2        | 2.3          | 1.2               | 0.7        | 0                              |
| Sm <sub>2</sub> Co <sub>17</sub> 系 $\gamma'$ -ラシック磁石 | 5.5        | 7.0          | 6.5               | 0.5        | 0                              |
| NdFeB系 $\gamma'$ -ラシック磁石                             | 4.5        | 6.0          | 4.5               | 1.0        | 0                              |
| Srフェライト系焼結磁石   | 3.8        | 2.7          | 3.4               | 0.5        | 0                              |
| Baフェライト系焼結磁石   | 3.6        | 2.2          | 3.3               | 0.5        | 0                              |
| Sm <sub>2</sub> Co <sub>17</sub> 系焼結磁石               | 9.8        | 7.0          | 22                | 1.0        | 0                              |
| Nd-Fe-B系焼結磁石   | 12.0       | 9.0          | 34                | 1.0        | 0                              |
| Fe-Cr-Co系磁石  | 9.5        | 0.8          | 3.2               | 0.3        | 0                              |
| Cu-Ni-Fe系磁石  | 7.0        | 0.5          | 1.5               | 0.5        | 0                              |
| 磁石装着せず   | —          | —            | —                 | —          | 8                              |

【0043】表3より、硬磁性ガーネット厚膜をファラデー回転素子として使用し、光の進行方向に対し、この素子の前後に永久磁石を配置することにより、熱サイクルによるアイソレータの特性劣化の発生率が著しく低減できることがわかる。したがって、本発明は、工業上、非常に有益であるといえる。

【0044】（実施例4）実施例3と同様にして、光の

進行方向に対し、硬磁性ガーネット厚膜のファラデー回転素子の前方又は後方のみに永久磁石材を配置して、熱サイクルによるアイソレータの特性劣化の発生率を調べた。その結果を表4に示す。

【0045】

【表4】

| ファラデー回転素子に対する<br>磁石の装着位置 | 磁石の材質                                      | フィルタの特性劣化<br>発生率(%) |
|--------------------------|--|---------------------|
| 前方                       | Srフェライト系ゴム磁石                               | 0                   |
| "                        | Baフェライト系プラスチック磁石                           | 0                   |
| "                        | Sm <sub>2</sub> Co <sub>17</sub> 系プラスチック磁石 | 0                   |
| "                        | Srフェライト系焼結磁石                               | 0                   |
| "                        | Sm <sub>2</sub> Co <sub>17</sub> 系焼結磁石     | 0                   |
| "                        | Fe-Cr-Co系磁石                                | 0                   |
| 後方                       | Baフェライト系ゴム磁石                               | 0                   |
| "                        | Srフェライト系プラスチック磁石                           | 0                   |
| "                        | Sm <sub>2</sub> Co <sub>17</sub> 系プラスチック磁石 | 0                   |
| "                        | Baフェライト系焼結磁石                               | 0                   |
| "                        | Sm <sub>2</sub> Co <sub>17</sub> 系焼結磁石     | 0                   |
| "                        | Cu-Ni-Fe系磁石                                | 0                   |
| 装着せず                     | —  | 8                   |

【0046】表4より、硬磁性ガーネット厚膜をファラデー回転素子として使用し、光の進行方向に対し、この素子の前方又は後方のいずれか片側に永久磁石を配置することにより、熱サイクルによるアイソレータの特性劣化の発生率が著しく低減できることがわかる。したがって、本発明は、工業上、非常に有益であるといえる。同様に、ファラデー回転素子の特性の劣化を防止できるので、光サーキュレータの特性の劣化も防止することができる。

【0047】続いて、本発明の第3の実施形態について、図面を参照して説明する。本発明の第3の実施形態においても、ファラデー回転子を構成する硬磁性のガーネット厚膜は、膜厚方向に磁気異方性を有するように、LPE法によって育成される。硬磁性のガーネット厚膜は、いったん外部磁界を印加して厚さ方向に着磁することにより、磁化を保持するための外部磁石を必要とせず、一方向に良好に磁化されたファラデー回転子として用いられる。

【0048】本実施形態において、硬磁性のガーネット厚膜は、化学式が、 $(Eu_xHo_{2-x}Bi)(Fe_{1-y}Ga_y)O_{12}$ で表され、 $0.7 \leq x \leq 1.1$ 、 $0.6 \leq y \leq 1.2$ 、の組成を有する。ガーネット厚膜は、結晶育成が容易なことと併せて、高濃度のBiを含むため、高いファラデー回転能を示し、薄い膜厚でもファラデー回転子に必要なファラデー回転角が得られる。

【0049】ガーネット厚膜は、以下に述べるように、LPE法によって育成される。まず、白金のつぼの中で、フラックス成分としての酸化鉛(PbO)、酸化ホウ素(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、および酸化ビスマス(Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)等、ガーネット成分として高純度の酸化ユーロピウム(Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、酸化ホルミウム(Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、酸化第2鉄( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、酸化ガリウム(Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)等を、約900~1100℃の温度で溶解して溶液を作製した後、降温し過冷却状態(過飽和溶液状態)とする。その溶液に基板結晶を浸漬し、一定時間回転することにより、ビスマス置換型ガーネット厚膜が育成される。

【0050】ガーネット厚膜は、PbO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系をフラックスとして育成されるため、ガーネット厚膜には、ある程度のB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>およびPbOが含有されることが多い。ガーネット厚膜中の高濃度のB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、PbOは、光の入射光の挿入損失を高める。しかし、適度な濃度で含まれるB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、PbOは、それぞれ、結晶格子の歪みの緩和や、イオンバランスの改善に寄与すると考えられる。本発明において、ガーネット厚膜に含有されるB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>およびPbOは、約3wt%以下とされる。ガーネット厚膜におけるEu、Ho、Fe、Gaの組成は、磁化の大きさに影響し、磁化が大きくなると逆磁区が発生して光アイソレータの特性(アイソレーション、消光比、挿入損失)が低下する。

【0051】硬磁性のガーネット厚膜における逆磁区の

発生は、ガーネット厚膜の形状に依存して変化する磁化量と静磁エネルギーによって強く影響を受ける。さらに、ガーネット厚膜は、基板結晶よりも20%程度大きい熱膨張率をもつ。基板結晶を削除しても、ガーネット厚膜には、応力が残存する。このため、温度サイクル（通常の当該部品では-40℃～+80℃の温度範囲）により、ガーネット厚膜には、応力の変化のほか、磁化量および磁壁エネルギーの変化が重畳し、逆磁区が発生し易い原因は残る。

【0052】そこで、光アイソレータの小型、軽量、低廉化を図りつつ、これらの特性劣化の原因となる逆磁区発生を防止する。光アイソレータは、ファラデー回転子の外側に、永久磁石材料で形成した筐体を配し、ファラデー回転子の面と、ファラデー回転子の面に近接する筐体の磁極が互いに異極の関係をなすように構成される。これにより、ファラデー回転子をなすガーネット厚膜の面に発生する静磁エネルギーを低減し、逆磁区の発生が防止される。

【0053】筐体は、ファラデー回転子に入射される光の方向に平行な方向に、または径方向に着磁されている。とくに径方向に着磁された筐体を用いる場合には、着磁したファラデー回転子を筐体の内部に装着する際に、筐体による磁界は、ファラデー回転子を構成する硬磁性のガーネット厚膜の異方性磁界と直交する方向に作用する。このため、ファラデー回転子に逆磁区が発生するのは非常に困難となり、光アイソレータの組立時に発生しやすい光アイソレータの特性の低下を回避することができる。

【0054】（実施例5及び6）本実施の形態の詳細を、以下に実施例5及び6をもって説明する。LPE法によって、 $PbO-Bi_2O_3-B_2O_3$ 系をフラックスとし、SGGG結晶基板（Ca、Mg、Zr置換GGG、格子定数12.496オングストローム）上に、ガーネット厚膜を育成した。ガーネット厚膜の厚さは約600μmで、組成は、 $(Eu_{0.9}Ho_{0.1}Bi_{1.0})(Fe_{1.3}Ga_{0.8})O_{12}$ で表され、 $B_2O_3$ およびPbOがそれぞれ約1wt%含有されていた。ガーネット厚膜の組成、 $B_2O_3$ 、および、PbOの含有濃度は、別途、EPMA分析および原子吸光分析によって求めた。

【0055】ガーネット厚膜の挿入損失は、含有される $B_2O_3$ 、PbOの濃度に依存する。 $B_2O_3$ とPbOの含有濃度が3wt%以下であるとき、ガーネット厚膜の挿入損失は低く保たれる。なお、3wt%を超えると、ガーネット厚膜の結晶格子に歪みが増大し、挿入損失が増

える。

【0056】本実施形態のファラデー回転子を構成するガーネット厚膜の磁気特性は、振動型磁力計による測定によれば、飽和磁化（4πMs）および残留磁化（Br）が約120G、保磁力（iHc）が約400Oeであった。ガーネット厚膜は、膜厚方向に磁気異方性を有する角形性の良好な磁化曲線を示し、硬磁性の材料となっている。

【0057】ガーネット厚膜は、波長1.55μmでファラデー回転角が約45degとなるように、厚さ約500μmに研磨し、反射防止のためにARコート処理し、ファラデー回転子2とした。つぎに、2枚のガラス偏光子（商品名ポーラコア）を、偏光面が互いに45degとなるように配し、これらの間に、ファラデー回転子を固定して一体化した。ガラス偏光子と一体化したファラデー回転子は、電磁石を使用して、約10kOeの磁界を印加して、厚さ方向に磁化した後、1辺が約2mmの正方形に加工した。

【0058】図4および図5は、それぞれ実施例5、6による光アイソレータの断面図である。まず、図4において、光アイソレータの筐体20は、外径4mm、内径3mmの円筒状の磁石材料からなっている。円筒状の筐体20は、ファラデー回転子1が装着される中央部を着磁しないまま残して（非着磁部分22）、両端部の近傍の着磁部分21が、それぞれ長さ方向に同一向きに着磁されている。

【0059】また、図5において、同様に、筐体30をなす外径4mm、内径3mmの円筒状の磁石材料は、ファラデー回転子1が装着される中央部を着磁しないまま残して（非着磁部分32）、両端部の近傍の着磁部分31が、それぞれ径方向に着磁されている。円筒状の筐体30の一方の端部近傍の着磁部分31は中心向きに、他の端部近傍の着磁部分31は外に向けて、それぞれ着磁されている。図4、および図5のいずれの構成においても、筐体20、30の磁極と、筐体20、30の磁極にもっとも近接するファラデー回転子1の磁極は、互いに異極の関係となるように配置されている。

【0060】図4および図5に示す構成の光アイソレータを、各種の磁石材料からなる円筒の筐体を用いてそれぞれ作製した。表5は、これら実施例において使用した磁石材料および磁気特性を示す表である。

【0061】

【表5】

10

20

30

40

| 管 体     |  |            |                     | 光アイソレータの特性 |              |       |              |
|---------|--|------------|---------------------|------------|--------------|-------|--------------|
| 磁 石 材 料 |  | 磁気特性       |                     | 図4の構成      |              | 図5の構成 |              |
|         |  | Br<br>(kG) | (BH)max<br>(K·G·Oe) | 良否         | 劣化発生<br>率(%) | 良否    | 劣化発生<br>率(%) |
| A       | Baフェライト系フラスチック磁石                           | 0.8        | 0.1                 | 良          | 0            | 良     | 0            |
| B       | Srフェライト系焼結磁石                               | 2.2        | 1.0                 | 良          | 0            | 良     | 0            |
| C       | Sm <sub>2</sub> Co <sub>17</sub> 系フラスチック磁石 | 3.0        | 2                   | 良          | 0            | 良     | 0            |
| D       | Sm <sub>2</sub> Co <sub>17</sub> 系焼結磁石     | 5.8        | 7                   | 否          | —            | 良     | 0            |
| E       | NdFeB系フラスチック磁石                             | 3.5        | 2.5                 | 否          | —            | 良     | 0            |
| F       | Fe-Cr-Co系磁石                                | 7.0        | 1.0                 | 良          | 0            | 良     | 0            |
| G       | アルニコ系磁石                                    | 5.0        | 1.0                 | 良          | 0            | 良     | 0            |
| H       | Cu-Ni-Fe系磁石                                | 5.0        | 1.0                 | 良          | 0            | 良     | 0            |
| I       | 磁石を着磁せず                                    | —          | —                   | 良          | 8            | 良     | 8            |

【0062】表5記載の磁石材料を筐体とする各光アイソレータ（表5記載のIを除く。以下において同じ。）の特性は、アイソレーションが40dB以上、挿入損失が0.3dB以下、消光比が40dB以上であった。

【0063】つぎに、上記の各光アイソレータを、各々50ヶ作製し、-40～+80℃/Hrの冷却・加熱速度で、10回繰り返す温度サイクルを与え、光アイソレータの特性劣化発生率について調べた。ここで、光アイソレータの特性劣化とは、アイソレーションが40dB以下、挿入損失が0.3dB以上、消光比が40dB以下のいずれかの範囲になったことをいう。光アイソレータの特性劣化の発生率を表5に併せて示す。

【0064】図4の構成の光アイソレータについては、温度サイクルによる光アイソレータの特性劣化の発生率は著しく低減する。しかしながら、使用する筐体の磁気特性が高い場合には、筐体内にファラデー回転子を装着する際に、筐体の磁界が反平行方向に作用し、ファラデー回転子に逆磁区が発生し、組立て終了時には光アイソレータの特性が不良となる。逆磁区が発生する磁界の臨界値は、ガーネット厚膜の保磁力の3倍程度である。

【0065】他方、図5の構成の光アイソレータについては、温度サイクルによる光アイソレータの特性劣化の発生率は、著しく低減するとともに、使用する筐体の磁気特性が高い場合でも、筐体内にファラデー回転子を装着する際に発生する光アイソレータの特性の不良は発生

しない。これは、硬磁性のガーネット厚膜の異方性磁界と直交する方向に磁石による磁界が作用するため、ファラデー回転子に逆磁区が発生するのが、非常に困難になるからである。

【0066】さらに、本実施形態の光アイソレータには、さきに説明した等方性磁石のほかに、径方向に着磁して使用する場合には径方向に異方性化した磁石や、光アイソレータの入射光と平行な方向に着磁して長さ方向に異方性化した磁石も、着磁の容易性の面から、それぞれ筐体として有用である。

【0067】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の請求項1乃至7記載の発明によれば、小型、軽量、低価格で、その上、特性劣化が発生しない光アイソレータ等の非可逆相反部品を提供することができる。

【0068】また、本発明の請求項8乃至14記載の発明によれば、光アイソレータの小型化、軽量化、低価格化を同時に図り得るファラデー回転子が得られ、かかるファラデー回転子を用いることで、小型化、軽量化、低価格化を同時に図った光アイソレータが得られる。

【0069】

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1における光アイソレータの構成を示す断面図。

【図2】実施例2における光アイソレータの構成を示す

断面図。

【図 3】 実施例 3 における光アイソレータの構成を示す断面図。

【図 4】 実施例 5 における光アイソレータの断面図。

【図 5】 実施例 6 における光アイソレータの断面図。

【図 6】 従来の光アイソレータの構成を示す断面図。 \*

\* 【符号の説明】

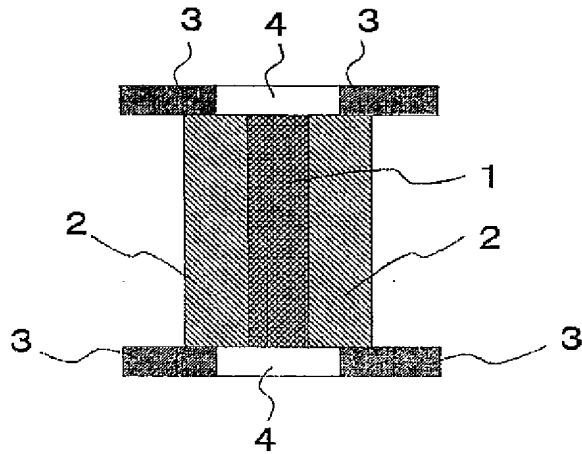
1, 21 ファラデー回転素子

2, 44, 55 偏光素子

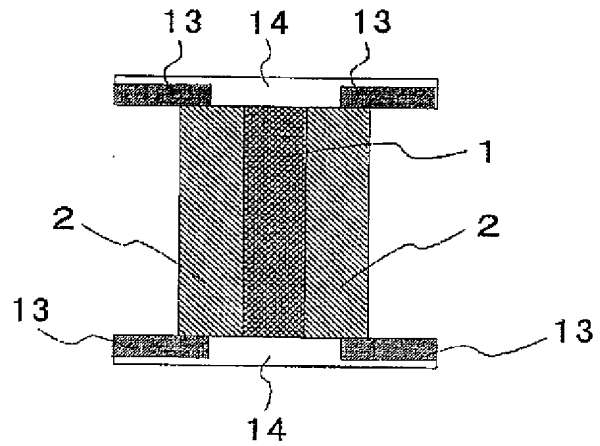
3, 13, 23 永久磁石

4, 14, 20, 24, 30 筐体

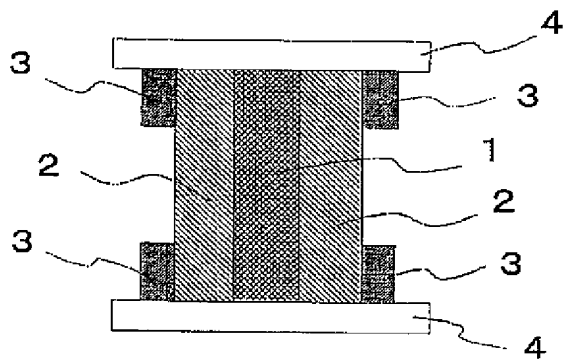
【図 1】



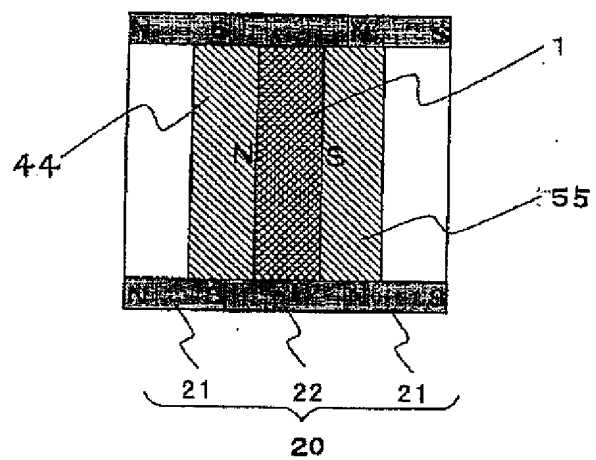
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【図 6】

